Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВОСКОВЫХ МОДИФИКАТОРОВ В СОСТАВЕ ЛИТЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Михайлова Ольга[1]*, **Ядыкина Валентина**[2], **Волков Владислав**[2]

[1]ООО «Селена»
[2]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
*Корреспондент автор: omikhaylova@npfselena.ru

Аннотация. Одной из важных задач дорожного строительства является снижение температур приготовления и укладки литых асфальтобетонных смесей при сохранении их эксплуатационных свойств. Это позволит снизить энергозатраты, повысить экономическую и экологическую эффективность технологии. Применение добавок на основе синтетических восков позволяет не только уменьшить температуру укладки и расход вяжущего, но и повысить устойчивость покрытия к пластическим деформациям. В данном исследовании оценено влияние комплексной добавки Вискодор ПВ-2, на физико-химические свойства битума и литых асфальтобетонов в сравнении с известными добавками Licomont BS-100 и Sasobit. На основании анализа физико-химических характеристик модифицированного вяжущего определена оптимальная концентрация добавок. Установлено, что введение 2,5% исследуемых компонентов снижает температуру укладки смеси минимум на 30°С, не оказывая негативного влияния на прочностные показатели. Благодаря синергии восков, ПАВ и пластификаторов, входящих в состав в состав Вискодор ПВ-2 достигается значительное повышение удобоукладываемости при одновременном уменьшении глубины вдавливания штампа. По своей эффективности как температуропонижающая добавка Вискодор ПВ-2 не уступает широко используемым воскам Sasobit и Licomont BS-100.

Ключевые слова: литой асфальтобетон, битум, температуропонижающие добавки, воски, физико-химические свойства.

Введение

Постоянный рост транспортных нагрузок и интенсивности движения на автомагистралях обуславливает ужесточение требований к прочностным характеристикам дорожных покрытий. В ответ на эту тенденцию всё более широкое применение находят материалы с повышенными эксплуатационными показателями, к числу которых относятся литые асфальтобетонные смеси.

Специфика литого асфальтобетона заключается в повышенном содержании битума (до 7,5–10%) и минерального порошка (до 20–30%). Вследствие этого определяющую роль в формировании его прочности играют микроструктура и реологические свойства битумного вяжущего [1].

Ключевой особенностью технологии укладки является высокая подвижность смеси, достигаемая за счёт повышенных температур и содержания вяжущего, что исключает необходимость её уплотнения. После остывания формируется высокопрочное, трещиностойкое и водонепроницаемое покрытие с остаточной пористостью не более 2%

[2]. Литой асфальтобетон обладает высокой плотностью, износостойкостью и коррозионной стойкостью, что позволяет продлить срок службы дорожного полотна до 15–20 лет [3].

Тем не менее, технология сопряжена со значительными энергозатратами и необходимостью применения специализированного транспорта для поддержания температуры смеси в диапазоне 220–230°C при постоянном перемешивании. Высокая стоимость материала обусловлена увеличенным расходом минерального порошка и битумного вяжущего [4]. Кроме того, покрытия на основе немодифицированного битума характеризуются низкой сдвигоустойчивостью, что провоцирует образование пластических деформаций [5].

Для повышения сопротивления сдвигу вяжущее модифицируют полимерами. Исследования [6–8] подтверждают, что использование полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) существенно улучшает прочностные и упругопластичные характеристики смесей. Однако данный подход приводит к увеличению вязкости, снижению подвижности смеси и, как следствие, требует ещё более высоких температур укладки и расхода вяжущего. В совокупности с высокой стоимостью самих полимеров это ведёт к существенному удорожанию технологии.

Альтернативным решением является применение дефлегматоров – добавок, улучшающих технологическую подвижность смеси. В европейской практике широкое распространение получили добавки на основе синтетических восков, такие как Sasobit и Licomont BS-100 [9]. Их принцип действия основан на снижении вязкости системы при температурах приготовления выше точки плавления воска. При последующем охлаждении эти компоненты кристаллизуются, образуя в объёме битума пространственную сетчатую структуру, которая армирует вяжущее и повышает его прочностные показатели.

Так, согласно данным исследований [9 – 12], введение таких восковых добавок как Sasobit и Licomont BS-100 в концентрации 2,0–4,0% снижает вязкость вяжущего и позволяет снизить температуру приготовления, уменьшить дозировку вяжущего при сохранении требуемой подвижности. При этом данные добавки увеличивают температуру размягчения и изменяет пенетрацию битумного вяжущего, демонстрируя выраженный структурирующий эффект.

Целью данной работы, выполненной ООО «Селена» совместно с кафедрой автомобильных и железных дорог имени А.М. Гридчина БГТУ им. В.Г. Шухова, является оценка влияния новой комплексной добавки Вискодор ПВ-2, разработанной на основе синтетических восков, катионных ПАВ и пластифицирующих компонентов, на свойства литой асфальтобетонной смеси. Как следует из работ [13, 14], применение данной добавки способствует снижению температуры приготовления асфальтобетонных смесей и проявляет структурирующие свойства., что выражается в расширении температурного интервала пластичности битумного вяжущего. Исходя из изложенного, исследование эффективности применения Вискодор ПВ-2 в рецептурах литых асфальтобетонных смесей представляется научно и практически обоснованным.

Методология

В работе было исследовано влияние комплексной добавки Вискодор ПВ-2 на физико-механические характеристики литой асфальтобетонной смеси типа ЛА16Вн. В качестве контрольных образцов для сравнительного анализа были выбраны модификаторы Sasobit (полиэтиленовый воск, синтезированный по методу Фишера-Тропша, производитель – «SasolWax», ЮАР) и Licomont BS 100 (амидный воск, производитель – «Clariant», Швейцария), широко используемые в мировой практике.

Объектом модификации служил вязкий дорожный битум марки БНД 70/100, произведённый АО «Газпромнефть – Московский НПЗ».

Для приготовления литых асфальтобетонных смесей на основе битума БНД 70/100, модифицированного исследуемыми добавками, применялись следующие минеральные

материалы: щебень фракций 8–16 мм и 4–8 мм, дроблёный песок фракции 0–4 мм (производитель – ОАО «Павловск Неруд»), а также неактивированный минеральный порошок МП-2 (производитель – ООО «Центр-Известняк»).

С целью изучения влияния модификаторов Вискодор ПВ-2, Licomont BS-100 и Sasobit на свойства битумного вяжущего и определения их рациональной концентрации был подготовлен ряд образцов. Исходя из данных предыдущих исследований [14], концентрация каждой добавки варьировалась в диапазоне от 2,0% до 3,5% с шагом 0,5%. Модификация осуществлялась путём введения расчётного количества предварительно разогретой до 150°С добавки в ёмкость с битумом той же температуры. Перемешивание производилось лабораторной мешалкой в течение одного часа при поддержании постоянной температуры.

Полученные составы битумов были подвергнуты комплексному анализу физико-химических свойств по следующим методикам: температура размягчения по кольцу и шару (ГОСТ 32054-2013), глубина проникания иглы при температурах 0°С и 25°С (ГОСТ 33136–2014) с использованием автоматического пенетрометра Линтел ПН-20, растяжимость при 0°С и 25°С (ГОСТ 33138–2014) на автоматическом дуктилометре Линтел ДБ-20-150, адгезия к минеральному материалу (ГОСТ 11508), температура хрупкости по Фраасу (ГОСТ 11507-78) на аппарате Линтел АТХ-20.

Гранулометрический состав минеральных материалов определялся методом ситового анализа согласно ГОСТ 33029-2014. На основании полученных кривых просеивания и в соответствии с требованиями ГОСТ 54401-2020 был подобран оптимальный зерновой состав для смеси типа ЛА16Вн.

Приготовление лабораторных образцов литого асфальтобетона выполнялось в смесителе ЛС-АБ-10. Формование проб проводилось согласно п. 10 ГОСТ Р 54400-2020. Дальнейшие испытания включали определение: максимальной плотности смесей ГОСТ Р 58401.16, объёмной плотности уплотнённых образцов ГОСТ Р 58401.8, глубины вдавливания штампа п. 11.4 ГОСТ Р 54400-2020, удобоукладываемости п. 11.9 ГОСТ Р 54400-2020, которая оценивалась по величине осадки конуса. Для оценки температуропонижающего эффекта добавок показатель удобоукладываемости измерялся для каждой серии смесей при трёх уровнях температуры: 185 °С, 200 °С и 215 °С.

Результаты и обсуждение

Результаты испытаний битума БНД 70/100 с исследуемыми добавками приведены в таблицах 1–2 и на рисунках 1–4. Установлено, что для всех модифицированных образцов характерны следующие общие изменения: снижение глубины проникания иглы при 25 °С, повышение температуры размягчения, расширение интервала пластичности, снижение растяжимости при 25 °С и 0 °С, улучшение адгезионных свойств.

Таблица 1 – Пенетрация битума, модифицированного исследуемыми добавками

Номер состава вяжущего	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Наименование добавки	Без добавки	Вискодор ПВ-2				Licomont BS-100				Sasobit			
Концентрация добавки, %	0	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 °С	81	72	70	63	55	68	63	61	54	54	52	50	48
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 0 °С	28	32	31	28	27	30	29	27	25	25	25	24	23

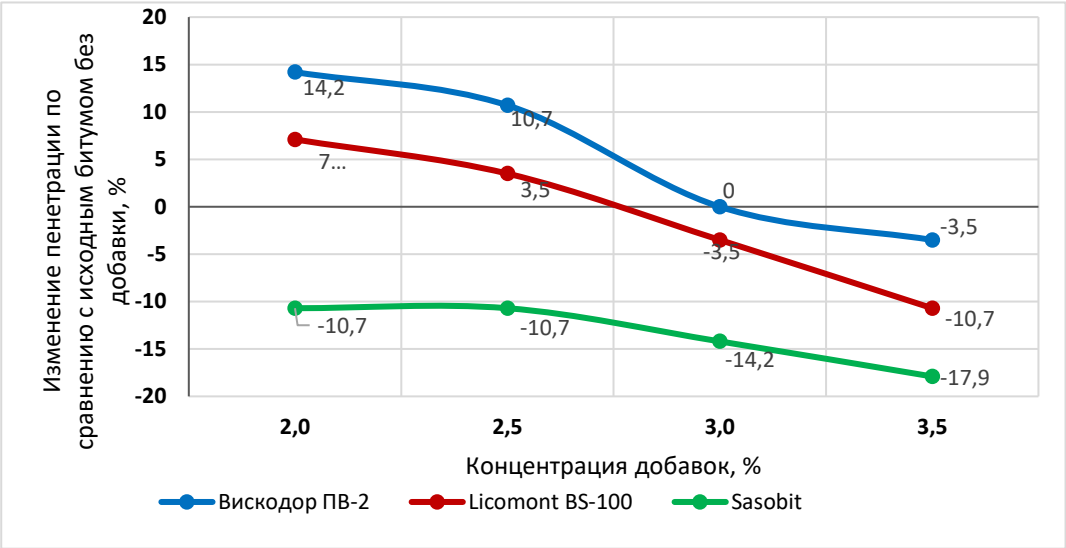


Рисунок 1 – Изменение пенетрации вяжущего при 0°С

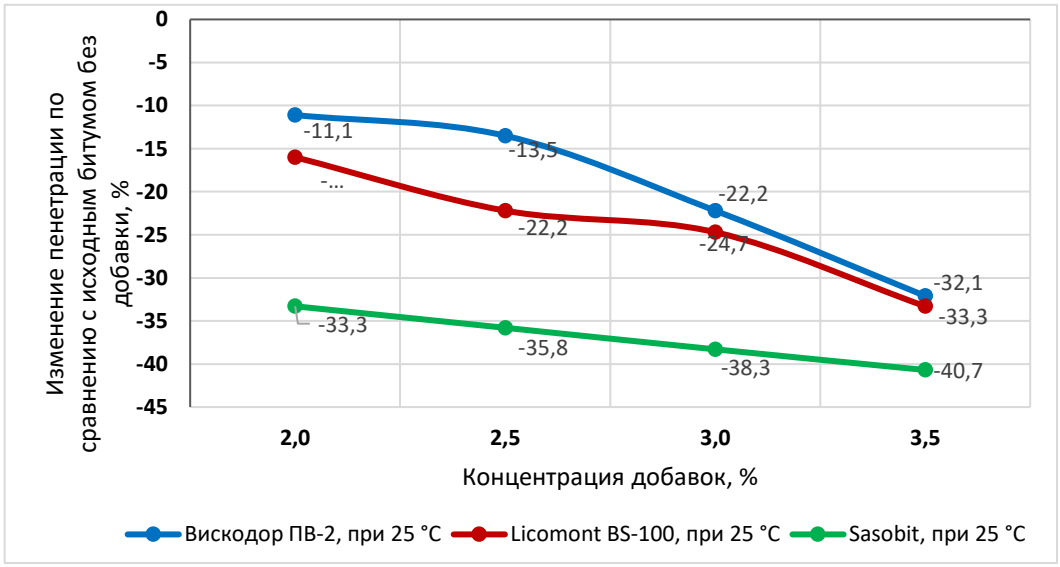


Рисунок 2 – Изменение пенетрации вяжущего при 25°С

В таблице 2 и на рисунках 1 и 2 приведены результаты исследования глубины проникания иглы битума, модифицированного восковыми добавками Sasobit, Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100, при температурах 25°С и 0°С.

Установлено, что все исследуемые добавки снижают показатель пенетрации при 25°С. Снижение пенетрации усиливается с ростом концентрации добавок и обусловлено способностью восков структурировать битумное вяжущее. Наибольшее снижение зафиксировано при введении добавки Sasobit. Так, введение уже 2% уменьшает глубину проникания иглы на 33,3%. Для сравнения, аналогичная концентрация добавок Licomont BS-100 и Вискодор ПВ-2 снижает данный показатель на 16,0% и 11,1% соответственно. Минимальное снижение пенетрации во всем диапазоне концентраций демонстрирует Вискодор ПВ-2, что связано с наличием пластифицирующих компонентов в его составе. При этом интенсивность снижения показателя возрастает после концентрации 2,5%, приводя к более выраженному снижению пластических свойств битумного вяжущего.

При температуре 0°С динамика изменения показателя пенетрации битумного вяжущего существенно различается для исследуемых добавок. Так, введение Sasobit в

количестве 2% снижает пенетрацию битума БНД 70/100 на 10,7%. Добавки Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 в концентрациях до 2,5% не снижают, но и увеличивают глубину проникания иглы. Такое повышение пенетрации свидетельствует об улучшении низкотемпературных характеристик вяжущего, что положительно влияет на устойчивость дорожного покрытия к термическим напряжениям в зимний период. Однако превышение концентрации данных добавок до 3% и более приводит к снижению показателя по сравнению с исходным битумом, ухудшая пластичность материала при отрицательных температурах и делая его применение в климатических условиях с суровыми зимами технологически неоправданным. Таким образом, увеличение концентрации добавок более 2,5% является нецелесообразным.

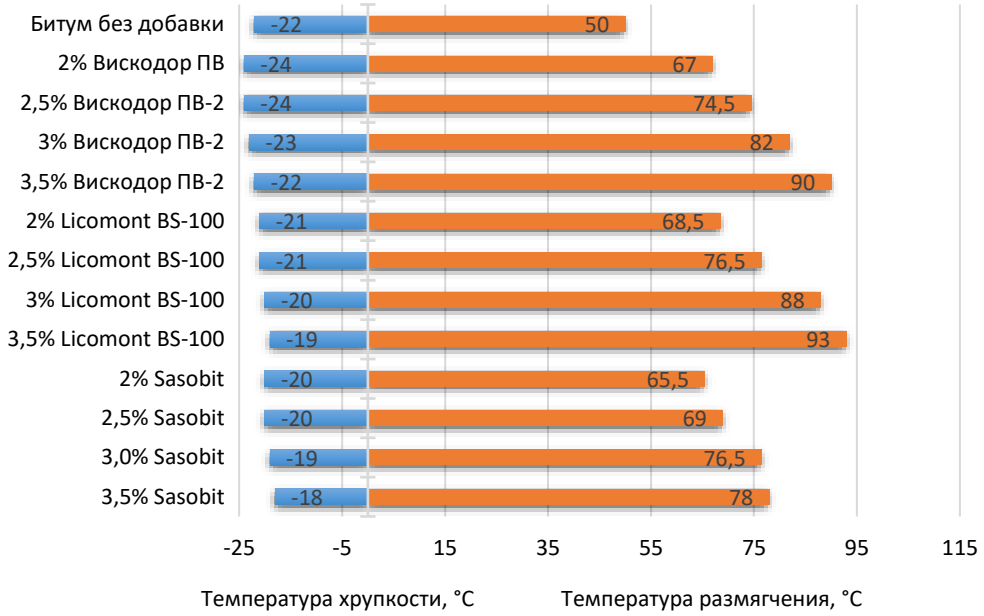


Рисунок 3 – Изменение интервала пластичности БНД 70/100 после модификации

Введение исследуемых восковых модификаторов Вискодор ПВ-2, Licomont BS-100 и Sasobit в битумное вяжущее приводит к расширению его температурного интервала пластичности по сравнению с исходным материалом (рисунок 3), что обусловлено существенным повышением температуры размягчения по КиШ и связано со способностью кристаллизующихся структур воска формировать объёмно-сетчатый каркас в среде битума. Такое структурирование способствует увеличению сдвигоустойчивости литых асфальтобетонных смесей, что будет способствовать снижению показателя глубины вдавливания штампа и повышению сопротивления пластическим деформациям при высоких эксплуатационных температурах.

Установлена общая для всех добавок зависимость: рост концентрации модификатора пропорционально увеличивает температуру размягчения и, как следствие, расширяет температурный интервал пластичности. Для исходного битума данный показатель составил 77°С. При дозировке 2,0% и 3,5% значения составили: с Вискодор ПВ-2 — 91°С и 114°C соответственно; с Licomont BS-100 — 89,5°С и 112°С; с Sasobit — 85,5°C и 96°С.

Максимальный эффект повышения температуры размягчения зафиксирован для добавки Licomont BS-100, минимальный — для Sasobit. Однако применение этих двух модификаторов сопровождается некоторым повышением температуры хрупкости битума, что может оказать отрицательное влияние на трещиностойкость покрытия в условиях низких температур.

Введение добавки Вискодор ПВ-2 в концентрациях до 3,0% масс. приводит к снижению температуры хрупкости модифицированного битума по сравнению с исходным (с минус 22°С до минус 24°С). Данный эффект, обусловленный наличием в составе

модификатора поверхностно-активных и пластифицирующих компонентов, свидетельствует об улучшении низкотемпературных свойств вяжущего. Это будет способствовать повышению трещиностойкости асфальтобетонного покрытия в условиях отрицательных эксплуатационных температур и, как следствие, увеличение срока его службы. Дальнейшее повышение содержания Вискодор ПВ-2 до 3,5% приводит к увеличению температуры хрупкости до уровня исходного битумного вяжущего (−22°С).

Таблица 2 – Растяжимость вяжущего, модифицированного исследуемыми добавками

Номер состава вяжущего	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Наименование добавки	Без добавки	Вискодор ПВ-2				Licomont BS-100				Sasobit			
Концентрация добавки, %	0	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Растяжимость при 25 ºС, см	130	64	61	52	49	62	58	49	46	61	55	51	45
Максимальное усилие при растяжении, при 25°С, Н	1,0	5,1	5,8	6,0	7,1	5,5	6,0	6,5	6,8	5,1	5,9	7,7	8,2
Растяжимость при 0 ºС, см	4,2	3,7	3,6	3,0	2,4	3,4	3,2	2,6	1,8	2,1	2,0	1,9	1,7
Максимальное усилие при растяжении, при 0°С, Н	115	159	160	171	172	135	150	160	168	175	177	178	180

Влияние исследуемых органических добавок на растяжимость модифицированного битума представлено в таблице 2. Полученные данные свидетельствуют о снижении этого показателя как при температуре 25 °С, так и 0 °С. Установлено, что интенсивность снижения растяжимости прямо пропорциональна концентрации вводимой добавки. Это объясняется повышением степени структурированности вяжущего за счёт формирования кристаллической структуры частицами синтетических восков. Наиболее выраженное снижение растяжимости при обеих температурах наблюдается для системы с добавкой Sasobit (рисунок 4). Наименьшее влияние на данный показатель оказывает добавка Вискодор ПВ-2, что обусловлено присутствием в её составе поверхностно-активных веществ (ПАВ) и пластифицирующих компонентов, нивелирующих жёсткость восковой структуры.

Выявлено существенное увеличение максимального усилия при растяжении, что указывает на рост когезионной прочности вяжущего. Так, введение 2 % добавок приводит к увеличению данного параметра при 25 °С на 410 % (Вискодор ПВ-2), 450 % (Licomont BS-100) и 410 % (Sasobit). Повышение концентрации до 3,5 % усиливает эффект до 610 %, 580 % и 720 % соответственно. При температуре 0 °С прирост максимального усилия при растяжении для 2 %-й концентрации составил 38,3 % (Вискодор ПВ-2), 17,4 % (Licomont BS-100) и 52,2 % (Sasobit); для 3,5 %-й — 43,0 %, 46,1 % и 32,0 % соответственно. Увеличение когезионной прочности является фактором, способствующим повышению прочности литых асфальтобетонных покрытий.

Установлено, что для добавок Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 повышение концентрации свыше 2,5 % вызывает резкое снижение растяжимости при 0 °С. Это может негативно отразиться на низкотемпературных свойствах и морозоустойчивости дорожного покрытия. Таким образом, на основании комплексного анализа показателей пенетрации при

0 °С, температуры хрупкости по Фраасу и растяжимости при 0 °С определена оптимальная концентрация введения данных добавок, составляющая не более 2,5 %.



а) б) в) г)

Рисунок 4 – Внешний вид минерального материала с битумным покрытием после кипячения: а.) Битум без добавок; б.) 2,5% Вискодор ПВ-2; в.) 2,5% Licomont BS-100; г.) 2,5% Sasobit

Результаты оценки адгезии исходного битума и модифицированного исследуемыми добавками в концентрации 2,5 % к минеральному материалу по методике ГОСТ 11508 представлены на рисунке 4. В качестве минерального материала использовался гранитный отсев фракции 0–4 мм, поскольку данный заполнитель был выбран для приготовления экспериментальных составов литых асфальтобетонных смесей.

Установлено, что модификация битума приводит к повышению показателя сцепления с поверхностью минерального материала. Так, покрытие поверхности заполнителя немодифицированным битумом после кипячения составило менее ¾ площади, что согласно классификации ГОСТ 11508 соответствует образцу №3. Вяжущее, модифицированное добавками Licomont BS-100 и Sasobit, покрывает более ¾ поверхности (образец №2). Битум с добавкой Вискодор ПВ-2 полностью сохраняет целостность плёнки на зёрнах минерального материала после кипячения, что соответствует образцу №1.

Наибольшую эффективность в улучшении адгезионных свойств проявила добавка Вискодор ПВ-2. Данный эффект обусловлен наличием в её составе катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые активно взаимодействуют с полярными группами на поверхности каменного материала. Повышение адгезии является ключевым фактором, способствующим увеличению водостойкости, прочности на сдвиг и устойчивости дорожного покрытия к выкрашиванию в процессе эксплуатации.

Анализ совокупности полученных данных показывает, что несмотря на наиболее значительное увеличение температуры размягчения по кольцу и шару (КиШ) и расширение интервала пластичности при концентрации добавок 3,5 %, дальнейшее повышение содержания Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 может привести к ухудшению низкотемпературных характеристик вяжущего. Таким образом, концентрация 2,5 % выбрана в качестве рациональной для указанных добавок. Для обеспечения сопоставимости результатов исследований для добавки Sasobit также была выбрана концентрация 2,5 % по массе при приготовлении образцов литых асфальтобетонных смесей.

На основании гранулометрических составов используемых минеральных материалов (щебня фракций 8-16 мм и 4-8 мм производства ОАО «Павловск Неруд», песка дробленого фракции 0-4 мм производства ОАО «Павловск Неруд» и минерального порошка МП-2 ООО «Центр-Известняк») в соответствии с ГОСТ 54401-2020 был подобран оптимальный состав минеральной части для литой асфальтобетонной смеси ЛА16Вн, представленный в таблице 3.

Таблица 3 – Подбор зернового состава минеральной части смеси

№ п/п	Наименование материала	Содержание, %	Содержание зерен менее данного размера, (мм) в % по массе						
			22,4	16,0	8,0	4,0	2,0	0,5	0,063
1	Щебень фр. 8-16 мм	39,0	39,0	36,9	9,2	0,5	0	0	0
2	Щебень фр. 4-8 мм	11,0	11,0	11,0	10,7	2,7	0,4	0	0
3	Песок дробленый фр. 0-4 мм	28,0	28,0	28,0	28,0	27,4	19,9	8,4	1,3
4	Минеральный порошок	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	18,7
Зерновой состав минеральной части			100,0	97,9	69,9	52,5	42,3	30,4	20,0
Требования ГОСТ Р 54401-2020 для ЛА16Вн		min	100	90	62	43	35	24	19
		max	100	100	78	61	50	41	28

На основе исходного битума БНД 70/100 без добавок и модифицированного 2,5% исследуемыми добавками битума, а также оптимально подобранного состава минеральной части смеси были приготовлены асфальтобетонные смеси ЛА16Вн. Составы смесей и результаты исследований физико-механических свойств приготовленных образцов литых асфальтобетонных смесей представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследования свойств образцов литых асфальтобетонных смесей

Компоненты состава битумного вяжущего в смеси		№ состава литой асфальтобетонной смеси					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
		Содержание, %, (сверх 100% минеральной части)					
Битум		9	9,5	10	8,775	8,775	8,775
Вискодор ПВ-2					0,225		
Sasobit						0,225	
Licomont BS-100							0,225
Всего вяжущего,		9	9,5	10	9	9	9
Наименование показателя	Требования ГОСТ 54401-2020	Результаты испытаний					
Максимальная плотность смеси, г/см3	не нормируется	2,4098	2,3977	2,3984	2,3981	2,3937	2,4031
Объемная плотность, г/см3	не нормируется	2,3931	2,3834	2,3844	2,3852	2,3795	2,3902
Содержание воздушных пустот, %	не более 1,5	0,69	0,60	0,58	0,54	0,59	0,54

Удобоукладываемость смеси мм. не менее, при температуре:	185°С	не нормируется	10	17	19	33	35	31
	200°С	не нормируется	17	25	28	39	42	36
	215°С	не менее 30	26	35	40	49	55	43
Глубина вдавливания штампа, при 40°С, мм		от 1,0 - 4,0	2,73	3,31	4,48	2,45	3,11	2,38
Увеличение глубины вдавливания штампа через 30 мин., мм		не более 0,6	0,15	0,49	0,51	0,35	0,4	0,32

Анализ полученных данных (таблица 4) показывает, что контрольные асфальтобетонные смеси без добавок № 1 и № 3 с содержанием вяжущего 9 % и 10 % не соответствуют требованиям ГОСТ Р 54401-2020. Так, состав № 1 при температуре 215°C продемонстрировал показатель удобоукладываемости 26 мм, что ниже нормативного значения (не менее 30 мм), а состав № 3, имея удовлетворительную удобоукладываемость (40 мм), не соответствует требованиям по глубине вдавливания штампа — 4,48 мм (при норме от 1 до 4 мм). Единственным из контрольных образцов, отвечающим всем требованиям стандарта, оказался состав № 2 с содержанием битума 9,5% (удобоукладываемость — 35 мм, глубина вдавливания штампа — 3,31 мм).

Введение исследуемых добавок позволило получить литые асфальтобетонные смеси с пониженным до 9 % содержанием битумного вяжущего, и соответствующие всем требованиям ГОСТ Р 54401-2020. При этом качество уплотнения смесей значительно улучшилось: наименьшее содержание воздушных пустот зафиксировано у образцов с добавками Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 (0,54% по сравнению с 0,69% у состава с равным количеством битума без модификатора). Добавка Sasobit снизила пористость до 0,59%. Таким образом, применение восковых модификаторов позволяет улучшить уплотняемость смеси без повышения температуры укладки и при меньшем расходе вяжущего.

Испытания при температурах 185, 200 и 215°C подтвердили температуропонижающий эффект восковых добавок примерно на 30°С. При 185°С составы с Вискодор ПВ-2, Sasobit и Licomont BS-100 показали удобоукладываемость 33, 35 и 31 мм соответственно, что соответствует нормативным требованиям для литых асфальтобетонных смесей при 215°С. Наиболее высокий показатель удобоукладываемости при использовании добавки Sasobit обусловлен низкой температурой плавления полиэтиленового воска, тогда как высокий показатель у Вискодор ПВ-2 объясняется наличием ПАВ и пластифицирующих компонентов. Контрольные смеси без добавок при 185 и 200°С имели удобоукладываемость менее 30 мм.

Анализ глубины вдавливания штампа выявил, что у смесей № 4 (с Вискодор ПВ-2) и № 6 (с Licomont BS-100) данный показатель на 10,3% и 12,8% ниже, чем у контрольного образца № 1 (с таким же содержанием битума без добавок), что свидетельствует об увеличении прочностных характеристик за счёт структурирующего действия амидного воска. Для смеси № 5 (Sasobit) значение оказалось выше, чем у образца № 1, но на 6% ниже, чем у стандартного состава № 2, что указывает на более слабый структурирующий эффект полиэтиленового воска.

Таким образом, все литые асфальтобетонные смеси с исследуемыми добавками соответствуют нормативным требованиям и обладают повышенной удобоукладываемостью. Модификаторы Вискодор ПВ-2, Licomont BS-100 и Sasobit могут применяться в качестве температуропонижающих добавок, позволяя снизить температуру

укладки на 30 °С и уменьшить содержание битумного вяжущего на 0,5% без потери прочностных свойств литого асфальтобетона.

Заключение

Установлено, что восковые модификаторы Вискодор ПВ-2, Licomont BS-100 и Sasobit структурируют битумное вяжущее, что подтверждается снижением глубины проникания иглы при температуре 25 °С, повышением температуры размягчения и уменьшением показателя растяжимости. Совокупность этих изменений способствует улучшению прочностных характеристик литых асфальтобетонных смесей и повышению их устойчивости к пластическим деформациям.

Выявлено, что применение указанных добавок усиливает сцепление между битумом и минеральным заполнителем, что является одним из ключевых факторов для увеличения долговечности и эксплуатационной надёжности дорожного покрытия.

Определена оптимальная дозировка для добавок Licomont BS-100 и Вискодор ПВ-2 на уровне 2,5% от массы битума. Установлено, что превышение этой концентрации негативно сказывается на низкотемпературных свойствах вяжущего, о чём свидетельствует уменьшение глубины проникания иглы и растяжимости при 0 °С, а также рост температуры хрупкости.

Важным практическим результатом стало подтверждение возможности снижения общего содержания битумного вяжущего в рецептуре литого асфальтобетона без ухудшения, а в ряде случаев — с улучшением его качественных показателей.

Анализ удобоукладываемости показал значительное превосходство модифицированных составов над контрольным образцом (с 9% немодифицированного битума), который продемонстрировал неудовлетворительный результат в 26 мм при 215 °С. Смеси с добавками обеспечили следующие показатели: Licomont BS-100 — 48 мм, Вискодор ПВ-2 — 49 мм; Sasobit — 55 мм.

Выявлено, что введение исследуемых восковых добавок в оптимальной концентрации 2,5% позволяет снизить технологическую температуру укладки смеси на 30 °С (до 185 °С) без ухудшения качественных характеристик литой асфальтобетонной смеси. При этом полученные значения удобоукладываемости полностью соответствуют нормативам: 33 мм состав с Вискодор ПВ-2, 35 мм — Sasobit и 31 мм — Licomont BS-100.

Отмечено, что добавки амидного типа Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 не только улучшают реологические свойства смеси, но и значительно повышают её сдвигоустойчивость. Это выражается в более низких значениях глубины вдавливания штампа по сравнению с контрольными образцами №1 и №2 (2,73 и 3,31 мм): 2,45 мм для Licomont BS-100 и 2,38 мм для Вискодор ПВ-2.

Таким образом, Вискодор ПВ-2 не уступает по эффективности восковым добавкам Licomont BS-100 и Sasobit. Более того, благодаря комплексному составу, включающему пластифицирующие компоненты и ПАВ, она обеспечивает более высокую удобоукладываемость, чем Licomont BS-100, а наличие амидного воска придаёт ей преимущество в сдвигоустойчивости перед Sasobit.

Список литературы

1. Мамонтов А. С., Маковецкая-Абрамова О. В., Цыплакова И. В. Литые асфальтобетоны для мостовых сооружений // Роль молодых ученых и исследователей в решении актуальных задач АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся, Санкт-Петербург-Пушкин, 26–28 марта 2020 года. – Санкт-Петербург-Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2020. – С. 289–295.

Mamontov A. S., Makovetskaya-Abramova O. V., Tsyplakova I. V. Litye asfaltobetony dlya mostovykh sooruzhenii [Cast Asphalt Concrete for Bridge Structures] // Rol molodykh uchenykh i issledovatelei v reshenii aktualnykh zadach APK: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i obuchayushchikhsya, Sankt-Peterburg-Pushkin, 26–28 marta 2020 goda. – Sankt-Peterburg-Pushkin: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2020. – P. 289–295.

2. Макаева А. А., Шерстнев С. В., Шерстнев Ю. В. Особенности применения асфальтобетона литого типа // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 ноября 2019 года / под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», 2020. – С. 357–360.

Makaeva A. A., Sherstnev S. V., Sherstnev Yu. V. Osobennosti primeneniya asfaltobetona litogo tipa [Specific Features of Using Cast Asphalt Concrete] // Arkhitekturno-stroitelnyi kompleks: problemy, perspektivy, innovatsii: sbornik statei II mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, Novopolotsk, 28–29 noyabrya 2019 goda / ed. by L. M. Parfenova. – Novopolotsk: Polotskii gosudarstvennyi universitet, 2020. – P. 357–360.

3. Печенкин И. Э., Овчинкин И. Э. Применение литого асфальтобетона на мостах // Технические и технологические основы инновационного развития: сборник статей Международной научно-практической конференции, Челябинск, 15 января 2019 года. – Челябинск: ООО «Аэтерна», 2019. – С. 36–39.

Pechenkin I. E., Ovchinkin I. E. Primenenie litogo asfaltobetona na mostakh [Application of Cast Asphalt Concrete on Bridges] // Tekhnicheskie i tekhnologicheskie osnovy innovatsionnogo razvitiya: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Chelyabinsk, 15 yanvarya 2019 goda. – Chelyabinsk: OOO “Aeterna”, 2019. – P. 36–39.

4. Лупанов А. П., Васильев Ю. Э., Силкин В. В. Расширение производства и применения литых асфальтобетонов // Автомобильные дороги. – 2023. – № 11(1104). – С. 132–137.

Lupanov A. P., Vasiliev Yu. E., Silkin V. V. Rasshirenie proizvodstva i primeneniya litykh asfaltobetonov [Expansion of Production and Application of Cast Asphalt Concrete] // Avtomobilnye dorogi. – 2023. – No. 11(1104). – P. 132–137.

5. Козиков И. О., Лупанов А. П., Силкин В. В. Прогнозирование сдвигоустойчивости покрытий из литого асфальтобетона // Транспортное строительство. – 2023. – № 3. – С. 10–13.

Kozikov I. O., Lupanov A. P., Silkin V. V. Prognozirovanie sdvigoustoichivosti pokrytii iz litogo asfaltobetona [Prediction of Shear Resistance of Cast Asphalt Concrete Pavements] // Transportnoe stroitelstvo. – 2023. – No. 3. – P. 10–13.

6. Курлыкина А. В., Ткачева А. И., Власова Е. А. Модификация битумных вяжущих для литого асфальтобетона // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова: материалы конференции, Белгород, 30 апреля 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2021. – С. 2122–2130.

Kurlykina A. V., Tkacheva A. I., Vlasova E. A. Modifikatsiya bitumnykh vyazhushchikh dlya litogo asfaltobetona [Modification of Bituminous Binders for Cast Asphalt Concrete] // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V. G. Shukhova: materialy konferentsii, Belgorod, 30 aprelya 2021 goda. – Belgorod: Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V. G. Shukhova, 2021. – P. 2122–2130.

7. Кузнецов Д. А., Высоцкая М. А., Курлыкина А. В. Исследование реологических свойств битумных вяжущих для литых асфальтобетонов // Актуальные проблемы науки и техники. 2022: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 16–18 марта 2022 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. – С. 826–827.

Kuznetsov D. A., Vysotskaya M. A., Kurlykina A. V. Issledovanie reologicheskikh svoistv bitumnykh vyazhushchikh dlya litykh asfaltobetonov [Study of Rheological Properties of Bituminous Binders for Cast Asphalt Concrete] // Aktualnye problemy nauki i tekhniki. 2022: materialy Vserossiiskoi (natsionalnoi) nauchno-prakticheskoi konferentsii, Rostov-na-Donu, 16–18 marta 2022 goda. – Rostov-na-Donu: Donskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2022. – P. 826–827.

8. Братчун В. И., Беспалов В. Л., Пшеничных О. А. Технологичные горячие и литые дорожные асфальтобетонные смеси // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 95–108.

Bratchun V. I., Bespalov V. L., Pshenichnykh O. A. Tekhnologichnye goryachie i litye dorozhnye asfaltobetonnye smesi [Technological Hot and Cast Road Asphalt Concrete Mixtures] // Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2022. – Vol. 18, No. 3. – P. 95–108.

9. Козиков И. О., Лупанов А. П., Силкин В. В., Суханов А. С. Влияние асфальтового гранулята и дефлегматоров на подвижность литых асфальтобетонных смесей // Транспортное строительство. – 2023. – № 2. – С. 27–29.

Kozikov I. O., Lupanov A. P., Silkin V. V., Sukhanov A. S. Vliyanie asfaltovogo granulata i deflegmatorov na podvizhnost litogo asfaltobetonnogo smesi [Effect of Asphalt Granulate and Deflegmators on the Workability of Cast Asphalt Concrete Mixtures] // Transportnoe stroitelstvo. – 2023. – No. 2. – P. 27–29.

10. Yue M., Yue J., Wang R., Xiong Y. Evaluating the fatigue characteristics and healing potential of asphalt binder modified with Sasobit and polymers using linear amplitude sweep test // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 289. – P. 123054. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123054.

11. Kolapkar S., Sathe S. Effect of Sasobit® as a WMA additive on mix design parameters // Materials Today: Proceedings. – 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.253.

12. Sigwarth T., Büchner J., Wistuba M. P. Bio-Degradable Wax to Modify Asphalt Binder for Warm Mix Asphalt // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, No. 16. – P. 10219. DOI: https://doi.org/10.3390/su141610219.

13. Михайлова О. А., Колесников Р. С. Исследование влияния добавок на основе синтетических восков на физико-механические свойства асфальтобетонной смеси // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В. Г. Шухова: сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. – Т. 9. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. – С. 234–239.

Mikhailova O. A., Kolesnikov R. S. Issledovanie vliyaniya dobavok na osnove sinteticheskikh voskov na fiziko-mekhanicheskie svoistva asfaltobetonnoi smesi [Study of the Effect of Synthetic Wax-Based Additives on the Physical and Mechanical Properties of Asphalt Concrete Mixture] // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V. G. Shukhova, posvyashchennaya 170-letiyu so dnya rozhdeniya V. G. Shukhova: sbornik dokladov, Belgorod, 16–17 maya 2023 goda. – Vol. 9. – Belgorod: Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V. G. Shukhova, 2023. – P. 234–239.

14. Ядыкина В. В., Михайлова О. А. Влияние температуропонижающих добавок на основе синтетических восков на свойства битума // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2023. – № 3. – С. 8–18. DOI: https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18.

Yadykina V. V., Mikhailova O. A. Vliyanie temperaturoponizhayushchikh dobavok na osnove sinteticheskikh voskov na svoistva bituma [Effect of Temperature-Reducing Synthetic Wax-Based Additives on Bitumen Properties] // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova. – 2023. – No. 3. – P. 8–18. DOI: https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18.

Сведения об авторах:

Михайлова Ольга Анатольевна – кандидат технических наук, заведующая лабораторией ООО «Селена», Шебекино, Белгородская область, Россия. Адрес: Россия, Белгородская обл., г. Шебекино, ул. Ржевское шоссе, 25. E-mail: omikhaylova@npfselena.ru

Ядыкина Валентина Васильевна – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия.Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: vvya@intbel.ru

Волков Владислав Витальевич – магистрант кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия. Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: vladislav_vv04@mail.ru

Михайлова Ольга Анатольевна – техника ғылымдарының кандидаты, «Селена» ЖШҚ зертхана меңгерушісі, Шебекино қаласы, Белгород облысы, Ресей. Мекенжайы: Ресей, Белгород облысы, Шебекино қ., Ржевское шоссе көшесі, 25. E-mail: omikhaylova@npfselena.ru

Ядыкина Валентина Васильевна – техника ғылымдарының докторы, В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университетінің А.М. Гридчин атындағы автомобиль және темір жолдар кафедрасының профессоры, Белгород, Ресей. Мекенжайы: Ресей, 308012, Белгород қ., Костюков көшесі, 46, В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университеті. E-mail: vvya@intbel.ru

Волков Владислав Витальевич – В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университетінің А.М. Гридчин атындағы автомобиль және темір жолдар кафедрасының магистранты, Белгород, Ресей. Мекенжайы: Ресей, 308012, Белгород қ., Костюков көшесі, 46, В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университеті. E-mail: vladislav_vv04@mail.ru

Mikhailova Olga Anatolyevna – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory, Selena LLC, Shebekino, Belgorod Region, Russia. Address: 25 Rzhevskoe Shosse, Shebekino, Belgorod Region, Russia. E-mail: omikhaylova@npfselena.ru

Yadykina Valentina Vasilievna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Roads and Railways named after A.M. Gridchin, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia. Address: 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. E-mail: vvya@intbel.ru

Volkov Vladislav Vitalyevich – Master's Student, Department of Roads and Railways named after A.M. Gridchin, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia. Address: 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. E-mail: vladislav_vv04@mail.ru

Вклад авторов:

О.А. Михайлова – получение финансирования, анализ, визуализация, интерпретация, редактирование;

В.В. Ядыкина - концепция, методология, редактирование;

В.В. Волков – сбор данных, тестирование, моделирование, подготовка текста.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): при подготовке статьи ИИ не использовался.

ҚҰЙМАЛЫ АСФАЛЬТБЕТОН ҚОСПАЛАРЫ ҚҰРАМЫНДА БАЛАУЫЗДЫ МОДИФИКАТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Михайлова Ольга[1]*, **Ядыкина Валентина**[2], **Волков Владислав**[2]

[1]«Селена» ЖШҚ
[2] В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университеті
*Корреспондент автор: omikhaylova@npfselena.ru

Аңдатпа. Жол құрылысындағы маңызды міндеттердің бірі – құймалы асфальтбетон қоспаларының пайдалану қасиеттерін сақтай отырып, оларды дайындау және төсеу температурасын төмендету. Бұл энергия шығынын азайтуға, сондай-ақ технологияның экономикалық және экологиялық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Синтетикалық балауыздар негізіндегі қоспаларды қолдану қоспаның төсеу температурасын және тұтқыр заттың шығынын төмендетіп қана қоймай, жабынның пластикалық деформацияларға төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Осы зерттеуде Вискодор ПВ-2 кешенді қоспасының битум мен құймалы асфальтбетонның физика-химиялық қасиеттеріне әсері Licomont BS-100 және Sasobit сияқты белгілі қоспалармен салыстырыла отырып бағаланды. Модификацияланған тұтқыр материалдың физика-химиялық сипаттамаларын талдау негізінде қоспалардың оңтайлы концентрациясы анықталды. Зерттеу нәтижесінде зерттелген компоненттерді 2,5% мөлшерінде енгізу қоспаның төсеу температурасын кемінде 30 °С-қа төмендететіні және бұл ретте беріктік көрсеткіштеріне кері әсер етпейтіні анықталды. Вискодор ПВ-2 құрамындағы балауыздар, беттік-белсенді заттар мен пластификаторлардың синергиялық әсері штамптың бату тереңдігін бір мезгілде азайта отырып, қоспаның жайылғыштығы мен төселгіштігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді. Температураны төмендететін қоспа ретіндегі тиімділігі бойынша Вискодор ПВ-2 кеңінен қолданылатын Sasobit және Licomont BS-100 балауыздарынан кем түспейді.

Түйін сөздер: құймалы асфальтбетон, битум, температураны төмендететін қоспалар, балауыздар, физика-химиялық қасиеттер.

EFFICIENCY OF USING WAX MODIFIERS IN CAST ASPHALT CONCRETE MIXTURES

Olga Mikhailova[1,*], Valentina Yadykina[2], Vladislav Volkov[2]

[1]LLC «Selena»
[2]Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova
[*]Corresponding author: omikhaylova@npfselena.ru

Abstract. One of the important tasks of road construction is to reduce the temperature of preparation and laying of cast asphalt concrete mixtures while maintaining their operational properties. This will reduce energy costs, increase the economic and environmental efficiency of the technology. The use of additives based on synthetic waxes allows not only to reduce the laying temperature and the consumption of binder, but also to increase the resistance of the coating to plastic deformations. In this study, the effect of the Viskodor PV-2 complex additive on the physicochemical properties of bitumen and cast asphalt concrete was evaluated in comparison with the known additives Licomont BS-100 and Sasobit. Based on the analysis of the physicochemical characteristics of the modified binder, the optimal concentration of additives was determined. It was found that the introduction of 2.5% of the test components reduces the temperature of laying the mixture by at least 30 °C, without negatively affecting the strength indicators. Due to the synergy of waxes, surfactants and plasticizers included in the composition of Viskodor PV-2 a significant increase in workability is achieved while reducing the depth of impression of the die.

In its effectiveness as a temperature-reducing additive, Viskodor PV-2 is not inferior to the widely used Sasobit and Licomont BS-100 waxes.

Keywords: cast asphalt concrete, bitumen, temperature-reducing additives, waxes, physicochemical properties.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).